

# 非線形超音波法によるコンクリートの損傷評価

東京工業大学 学生会員 齋藤 博紀  
東京工業大学 正会員 廣瀬 壮一

## 1. はじめに

外から何らかの作用を受けたコンクリート構造物に対して、十分な耐久性を持っているかどうか、あるいは、どの程度損傷を受けているか、などを正確に診断することは構造物を適切に維持管理する上で重要である。そのために非破壊検査の必要性が高くなっている。

近年、コンクリート材料の損傷評価に超音波の非線形性を用いる研究が行われている<sup>1)</sup>。欠陥や損傷部に大振幅の超音波を入力して非線形現象を発生させ、それによって反射、散乱した非線形超音波の特性から欠陥及び損傷の評価を行うものである。過去の研究より、線形超音波よりも非線形超音波の方が欠陥や損傷に対して感度が高く有用であると報告されているが、非線形超音波に関してはその発生メカニズムを含めて未解明の部分が多い。そこで、本研究では、コンクリートの圧縮破壊の損傷を取り上げ、変動荷重下での非線形超音波を計測し、その特性を考察する。

また、コンクリートの損傷の度合いを評価するために AE カウント数も同時に計測し、非線形超音波法の結果と比較する。

## 2. 実験概要

### (1) 試験体

15cm × 15cm × 15cm の立方体で、水-セメント比 (W/C) が 40%, 50%, 60% の 3 種類のコンクリート試験体をそれぞれ 3 個作成した。

### (2) 実験方法

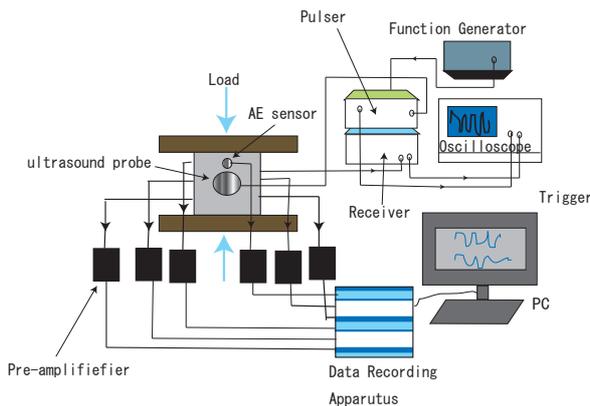


図-1 超音波試験及び AE 法による実験装置

図-1 のように非線形超音波法と AE 法による試験を同時に行った。超音波探触子及び AE センサーは図-2 のように配置した。非線形超音波試験では試験機で圧縮荷重すると同時に、向かい合う試験体の側面に配置した超音波探触子を用いることにより、超音波の透過試験を行った。送信用

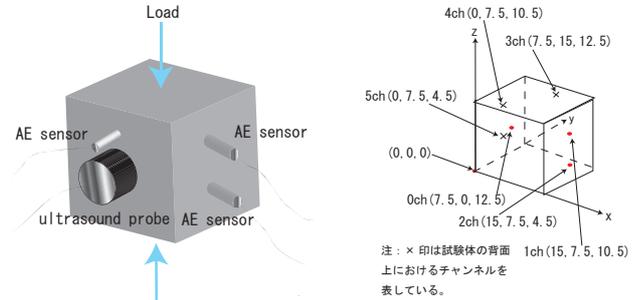


図-2 超音波探触子・AE センサー 図-3 各 AE センサーのチャンネル配置図

と受信用の探触子は、直径がそれぞれ 70mm, 50mm で、中心周波数は、それぞれ 100kHz, 200kHz である。試験体への探触子の設置方法は、試験体の接触面にグリセリンを塗り、さらに布テープで固定した。試験は、試験体における荷重が 100kN 増加する毎に周波数 100kHz の 10 波の正弦波からなるトーンバースト波を送信探触子に入力した。入力波の peak to peak 電圧はパルサーの最大出力電圧である 1800V の 10, 30, 50, 70, 90 % になるように変化させた。

AE 法による試験では 6 個の AE センサーを用いて AE 波形を記録した。試験体への荷重スタートと同時に AE 計測をスタートし、試験体が破壊するまで計測した。ただし、荷重レベル 100kN 毎において前述の超音波評価を行うので、その間は計測を一時停止し、再び荷重を上げると同時に計測をスタートするという方針で行った。

AE の信号処理としては AE 計数 (カウント数) を用いた。

## 3. 実験結果と考察

図-4 は左が荷重レベル 0kN, 右が荷重レベル 300kN における、水-セメント比 W/C=50% の試験体の超音波透過実験によって得られた透過超音波の波形、その周波数スペクトル及び周波数スペクトルを dB 表示した図を上から順に並べたものである。ただし、dB 表示においては 100kHz での振幅を基準として正規化している。また、送信探触子に入力したトーンバースト波の電圧は 1800V の 50% とした。

図-4 の中段に示した周波数成分から明らかなように、最も強い周波数成分は入力電圧周波数と同じ 100kHz であることがわかる。100kHz における振幅を比較すると、荷重レベル 300kN の振幅の方が小さくなっていることがわかる。これは荷重によってコンクリート内部に微小なき裂が発生し、それによって透過する超音波が散乱して受信波の基本周波数における振幅が小さくなったものと考えられる。一方、100kHz 以外の周波数成分はかなり小さいが、図-4 の下段における dB 表示した図を見ると、200kHz において、別の振幅のピーク値が存在することがわかる。この 200kHz における振幅は 2 次非線形高調波に相当する。

キーワード: 非線形超音波, 基本周波数, 高調波, AE カウント数, 損傷  
連絡先 〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 TEL 03-5734-2692 FAX 03-5734-2692

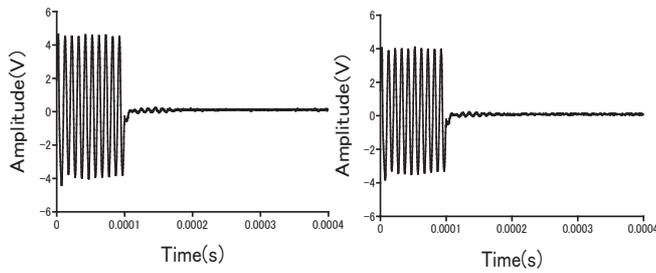


図-4 W/C=50%の試験体における超音波透過実験によって得られた透過超音波の波形(上段)とその周波数スペクトル(中段)及び周波数スペクトルのdB表示(下段)

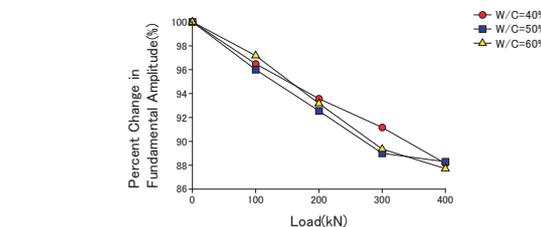


図-5 さまざまな荷重レベルにおける基本周波数振幅

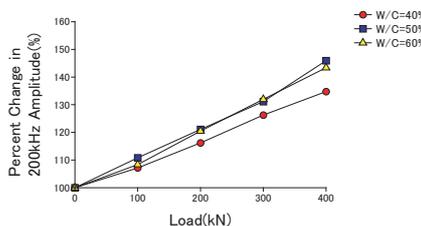


図-6 さまざまな荷重レベルにおける周波数 200kHz での高調波振幅

図-5, 図-6 は水セメント比 W/C=40%, 50%, 60% のそれぞれの試験体に対して, 横軸に 100kN 毎の荷重レベルをとり, 荷重レベル 0kN での周波数 100kHz 及び 200kHz における振幅を基準 (100%) としたときの振幅をパーセント表示したものである。各荷重レベルにおいて入力 of トーンパースト波の peak to peak 電圧レベルを変化させて実験を行い, それらの平均値を求めたものを示している。これら 2 つの図より, 荷重の増加に伴って基本周波数である 100kHz の透過波の振幅は減少し, 200kHz における高調波振幅は増

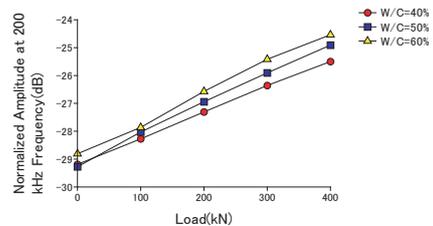


図-7 さまざまな荷重レベルにおける基本周波数振幅と周波数 200kHz での高調波振幅の比 (dB 表示)

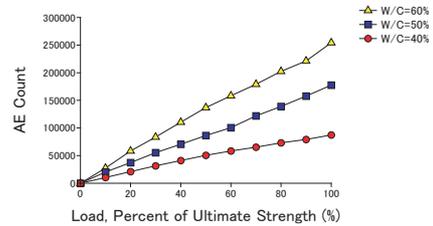


図-8 荷重の増加に伴う AE カウント数

加していることがわかる。

一方, 図-7 は水セメント比 W/C=40%, 50%, 60% のそれぞれの試験体に対して, 横軸に 100kN 毎の荷重レベルをとり, 100kHz の振幅で正規化された周波数 200kHz での高調波振幅を dB 表示で示したものである。この図より, 水セメント比が高いほど高調波振幅が大きくなっていることがわかる。これより, 非線形超音波の影響は水セメント比の高いコンクリート, すなわち弱いコンクリートのほうが大きいと言える。

図-8 は水セメント比 W/C=40%, 50%, 60% のそれぞれの試験体に対して, 横軸に最大荷重に対する 10% 毎の割合をとり, 各 AE センサーにおける AE カウント数の平均値を示したものである。図-8 より, 荷重の増加に伴って AE カウント数は増加しており, また水セメント比が高いほど AE カウント数は大きくなっていることがわかる。これは, 図-7 の非線形高調波の結果とほぼ一致しており, 高調波振幅がコンクリート内部の損傷と関連を持つことがわかる。

#### 4. おわりに

本研究では, 非線形超音波法を用いてコンクリート内部における損傷を調べた。その結果, 受信波の基本周波数の減衰や高調波 (200kHz における振幅値) の発生が見られた。そして, 基本周波数の振幅値は荷重の増加に伴い減衰することがわかった。また, 荷重の増加に伴い生じた損傷部を超音波が透過することによって, 非線形高調波振幅が大きくなり, この高調波は水セメント比が増加すると, より大きな値を示した。また, AE 法が受動的手法であるのに対し, 非線形超音波法は能動的手法である。したがって, 本研究よりコンクリートの損傷を能動的な非破壊手法によって評価できると言える。

#### 参考文献

- 1) I.Solodov : Ultrasonics of non-linear contacts:propagation, reflection and NDE-application , Ultrasonics 36 pp.383-390, (1998)
- 2) 大津政康 : アコースティック・エミッションの特性と理論, 森北出版, 2005.
- 3) 日本機械学会 (川嶋紘一郎, 坂上隆英, 巨陽) : 非破壊検査工学最前線, 共立出版, 2009.